MINIMIZAÇÃO DE ERROS NA INTERPOLAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO PROVENIENTES DA CONCENTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES NAS CURVAS DE NÍVEL

Daniel GOMES-LOEBMANN [1]
Leonardo Figueiredo de FREITAS [2]
Roberto Arnaldo Trancoso GOMES [3]
Renato Fontes GUIMARÃES [4]
Osmar Abílio de CARVALHO JÚNIOR [5]

RESUMO

Os modelos digitais de terreno gerados por interpolação de dados hipsométricos apresentam forte concentração de informações altimétricas sobre as curvas de nível. Este efeito pode prejudicar a obtenção de mapas derivados, como o de fluxo acumulado. O trabalho apresenta uma metodologia para suavização do efeito de concentração num modelo gerado pelo módulo de interpolação TOPOGRID do software ArcInfo. O módulo TOPOGRID é considerado apropriado para análise de processos hidrológicos, por eliminar falsas depressões e representar melhor os processos hídricos de superfície. Por isso, a metodologia pretende corrigir o modelo sem perder esta qualidade em seus dados. A área de estudo está localizada numa zona de rebordo de chapada na cidade satélite do Gama, DF. As informações altimétricas localizadas numa faixa ao redor das curvas de nível foram retiradas logo após o modelo ser gerado. Em seguida, os dados foram interpolados novamente, apresentando uma minimização do efeito de concentração de valores altimétricos e transições menos abruptas entre as cotas de elevação modeladas. Os resultados mostram que houve uma suavização nos valores de freqüência de pixels que possuem altitudes iguais às curvas de nível. Tal suavização pode ser verificada no histograma de freqüência de altitudes.

INTRODUÇÃO

Os modelos digitais de terreno (MDTs) podem ser entendidos como representações discretas das variações contínuas da superfície terrestre (VIEUX, 1995). Desta forma, a correspondência entre um modelo gerado e o terreno que ele representa depende de diversos parâmetros, como o tamanho da célula do grid (BURROUGH, 1986). Independentemente da metodologia utilizada para a geração do modelo, este sempre apresenta erros de interpolação, como os que subestimam os valores de altitude de determinadas células e criam falsas depressões (RAAFLAUB e COLLINS, 2005). Estes erros podem se propagar para os mapas derivados de MDTs, como os de declividade, aspecto, área de contribuição e curvatura da superfície (OKSANEN e SARJAKOSKI, 2005).

A correção destes e outros erros torna-se importante à medida que os MDTs são utilizados para analisar diversos processos ambientais. Modelos numéricos de terreno subsidiam estudos de processos erosivos (p. ex. FINLAYSON e MONTGOMERY, 2003; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, 2003), estudos de ocorrência de movimentos de massa (GUIMARÃES et al, 2003; FERNANDES et al., 2004; VAN WESTEN e LULIE GETAHUN, 2003), dinâmicas

[1] Universidade de Brasília, Aluno de Graduação, Bolsista do PIBIC/CNPq, gomesloebmann@yahoo.com.br.
[2] Universidade de Brasília, Aluno de Graduação, Bolsista do PIBIC/CNPq, leoffreitas@yahoo.com.br
[3] Universidade Federal do Rio de Janeiro, Doutorando, ratgomes@ig.com.br
[4] Universidade de Brasília, Professor Doutor, Bolsista de PQ do CNPq, renatofg@unb.br
[5] Universidade de Brasília, Professor Doutor, Bolsista de PQ do CNPq, osmarjr@unb.br

glaciais (KÄÄB, 2005; PAUL et al., 2004), estudos batimétricos (PORTER-SMITH, 2003), entre outros.

Outros autores se propuseram a estimar a precisão de MDTs e seus mapas derivados e a relação entre os erros de ambos (STEVENS et al., 2003; RAAFLAUB e COLLINS, 2005; OKSANEN e SARJAKOSKI, 2005). Hutchinson (1988, 1989) apresentou um procedimento de interpolação de dados que permite que o modelo de terreno gerado possua a menor quantidade de depressões espúrias.

Um dos grandes problemas na geração de MDTs está relacionado com a concentração de informações altimétricas sobre as curvas de nível. Este fenômeno, típico de modelos obtidos por meio de cartas topográficas, produz encostas na forma de degraus, com diferentes valores de declividade, mesmo que as isolinhas altimétricas estejam igualmente espaçadas.

Levando-se em conta que a maioria dos MDTs ainda são gerados a partir de cartas topográficas o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para suavizar o efeito de concentração de valores altimétricos em modelos digitais de terreno. Ao mesmo tempo, a suavização é realizada de modo que se perca a menor quantidade possível de informações. Evita-se assim, que o modelo suavizado perca as características de rugosidade que o torna mais fiel ao terreno modelado.

ÁREA DE ESTUDO

Foi selecionada uma área a oeste da cidade do Gama, DF, que abrange uma parte do rebordo de planalto característico do local (Fig. 1). No que diz respeito à geologia, apresenta nas cotas mais altas as Coberturas Detrito-lateríticas. Elas possuem solos com forte presença de laterito, que atuam na preservação de antigas superfícies de aplainamento, devido à resistência ao intemperismo. Ao longo da encosta, predominam as rochas da Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária do Grupo Paranoá, cuja base possui quartzitos feldspáticos, que no topo evoluem para uma alternância de metassedimentos intercalados com quartzitos, classificados como ritmitos. São rochas pouco permeáveis, que favorecem a dissecação por escoamento superficial (cf. SCISLEWSKI et al., 2003; BRASIL, 2003a).

A geomorfologia da área está estreitamente relacionada à estrutura geológica. No topo da chapada, onde estão as Coberturas Detrito-lateríticas, há uma superfície tabular aplainada, e uma rede de drenagem de baixa densidade que pertence à Unidade Geomorfológica Planalto do Distrito Federal. À jusante estão os degraus estruturais relacionados à falha de empurrão que delimita a zona de contato desta Unidade com a dos Patamares do Planalto do Distrito Federal; esta também com superfícies aplainadas levemente dissecadas e capeadas por laterito, porém com estrutura menos resistente (cf. DANTAS, 2003; BRASIL, 2003b).

O local possui solos rasos ao longo da encosta e no rebordo do Planalto do Distrito Federal, onde há CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos. A área plana e mais baixa apresenta uma associação de LATOSSOLOS VERMELHOS com LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS, ambos Distróficos na proporção de 70 e 30%. Esta unidade pedológica segue direção NO – SE, acompanhando uma falha estrutural presente à jusante da área de estudo (cf. MOTTA et al., 2003; BRASIL, 2003c; SCISLEWSKI et al., 2003).

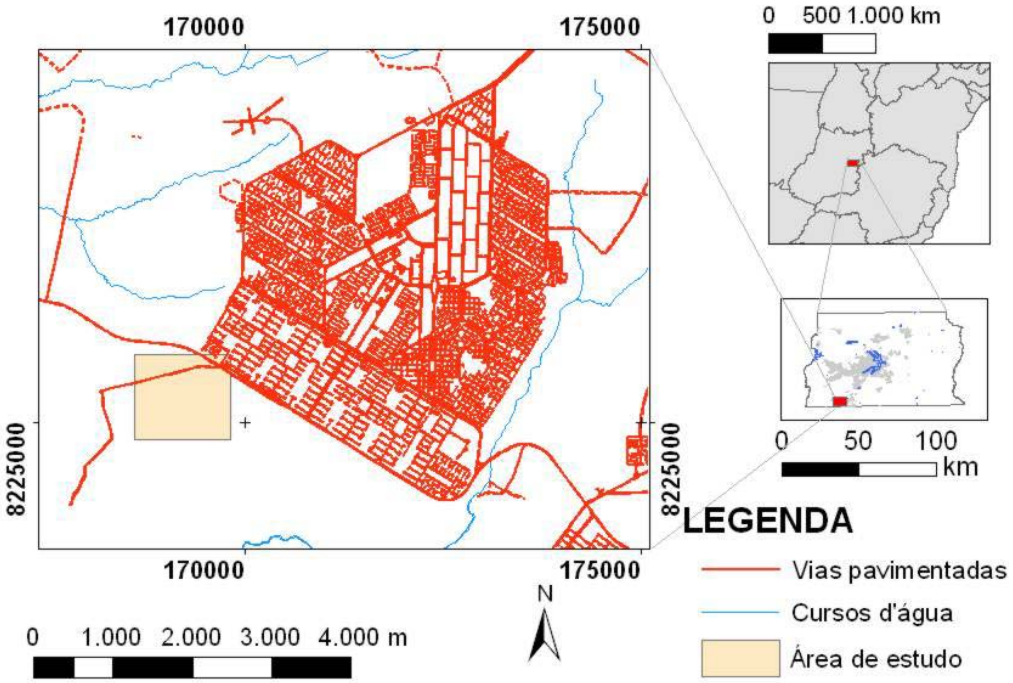

Figura 1. Localização da área de estudo.

MÉTODOS e TÉCNICAS

O módulo TOPOGRID (ESRI, 1993) do *software* ArcInfo foi selecionado para gerar o modelo da área de estudo. Este módulo foi elaborado a partir da proposta de Hutchinson (1988, 1989, 1993) e gera modelos com alta correlação entre os valores altimétricos interpolados e os verificados em campo (cf. GUIMARÃES, 2000).

Além disso, dados os métodos de correção topográfica realizados durante a geração dos modelos, o TOPOGRID é considerado um interpolador apropriado para estudos hidrológicos superficiais. Esta característica é favorecida pela precisão com que os cursos de drenagem são modelados durante a interpolação (cf. KENNY & MATTHEWS, 2005).

Após a interpolação dos dados, os modelos gerados foram transferidos para o *ArcView*, onde foram recortados com *buffers* gerados ao redor das curvas de nível. Esse procedimento foi realizado para retirar as informações de altitude das curvas e das áreas mais próximas a elas. Em seguida, os valores altimétricos dos modelos recortados foram reutilizados para uma nova interpolação. Nesta segunda interpolação, são modelados os novos valores para as regiões das curvas de nível.

Nas localidades em que as curvas de nível apresentam uma proximidade inferior ao do *buffer* estabelecido, ocasionando uma falta de informação, realizou-se uma reamostragem da curva original utilizando apenas os vértices com o espaçamento de 100 metros entre si.

Em seguida, foram gerados os mapas derivados por meio do módulo *Sinmap* do *software ArcView*. Este módulo é baseado em Tarboton (1997) e gera para um determinado modelo digital de terreno seus mapas correspondentes de declividade, aspecto e área de contribuição. A Figura 2 mostra esquematicamente as etapas da metodologia adotada.

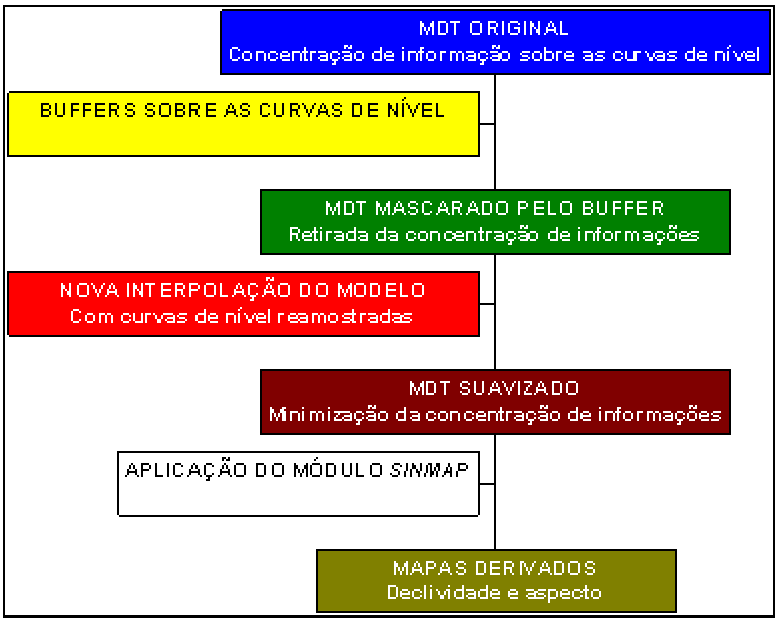

Figura 2. Etapas da metodologia aplicada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram obtidos os modelos suavizados, com a aplicação de *buffers* de 10, 15 e 20 metros ao redor de cada curva de nível. O histograma de dispersão de valores de altitude mostra que há uma menor concentração nos picos de freqüência nos modelos mascarados com *buffers* mais largos (Figura 3). Pode-se perceber que à medida que a largura do *buffer* aumenta, maior é o efeito de suavização sobre o MDT e mais feições de rugosidade são perdidas. Esta constatação é importante para definir qual o tamanho ideal de *buffer*, que permite a obtenção de um modelo com perda mínima de informação. O MDT original e os suavizados podem ser vistos na Figura 4.

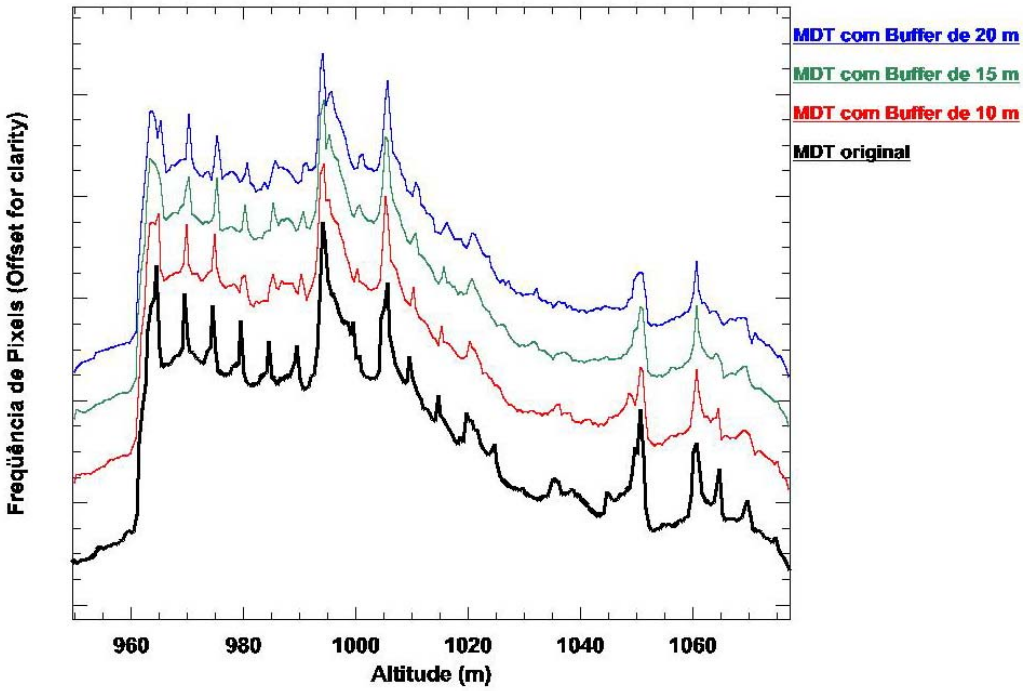

Figura 3. Histograma de freqüência dos modelos gerados (redimensionados para melhor visualização). Notar a diferença dos picos de freqüência nos valores de 1050 e 1060 m de altitude.

A Figura 5 mostra a diferença entre os perfis altimétricos do modelo original e do modelo suavizado com a máscara de 20 metros. Na figura, percebe-se a ausência de interferências causadas pela concentração de informações altimétricas sobre as curvas de nível. Ao mesmo tempo, há uma perda de rugosidade do terreno causada pela segunda interpolação.

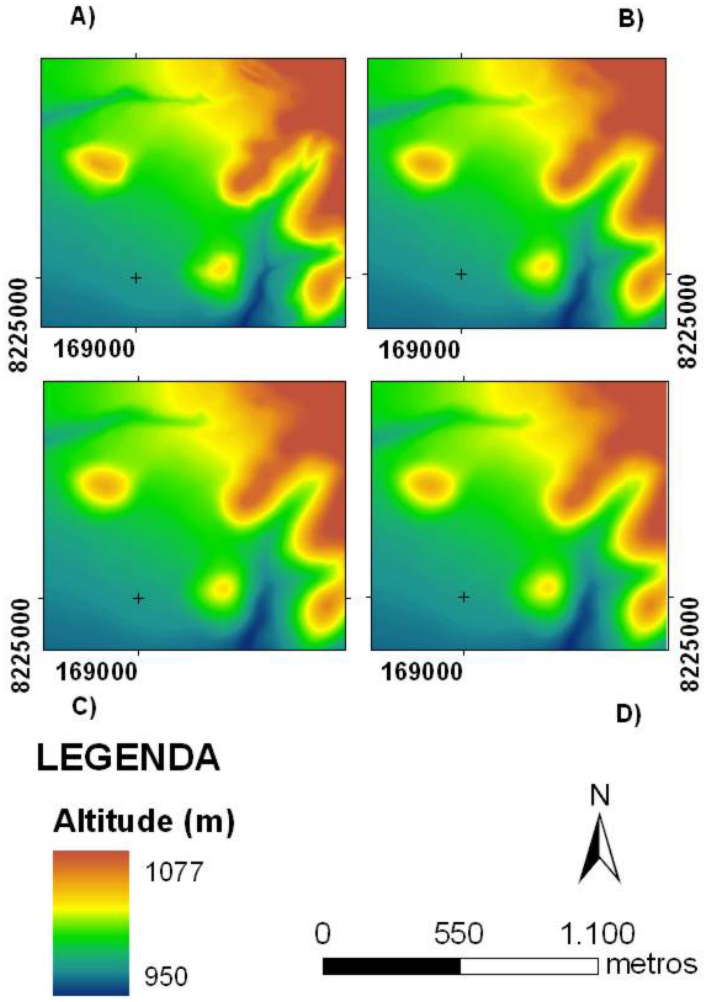

Figura 4. Modelos gerados com a aplicação da metodologia: 4.A) Modelo digital de terreno original, obtido pelo módulo TOPOGRID (ESRI, 1993); 4.B) Modelo com *buffer* de 10 m de largura ao redor das curvas de nível; 4.C) Modelo com *buffer* de 15 m de largura; 4.D) Modelo com *buffer* de 20 m.

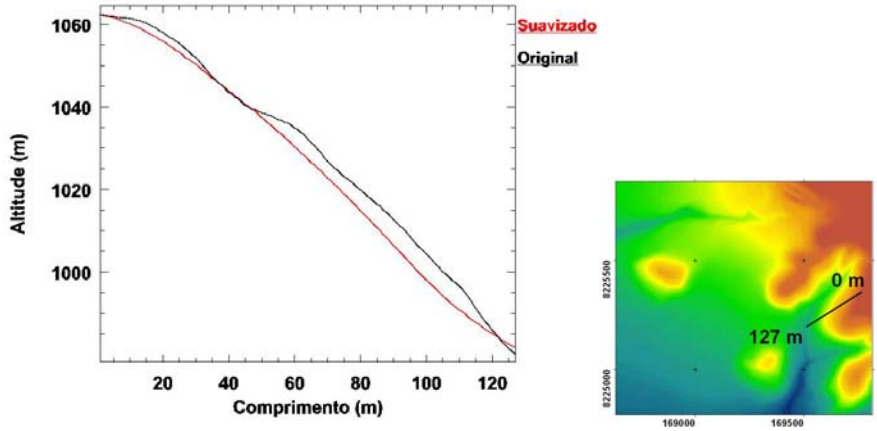

Figura 5. Diferença entre os perfis de altitude do modelo original e do modelo suavizado por um *buffer* de 20 metros.

O mesmo efeito pode ser percebido nos mapas de declividade do terreno (Figura 6). Quanto maior a área da máscara sobre o modelo original, mais uniformes ficam as declividades,

principalmente nas áreas de encosta. Assim, nas encostas do Planalto houve uma considerável diminuição da influência da concentração de valores altimétricos das curvas de nível. Na mesma figura, verifica-se que os locais planos não foram muito alterados pela suavização do modelo. Nestas áreas, os valores de declividade localizados sobre as curvas de nível são menores que a das áreas que a circundam.

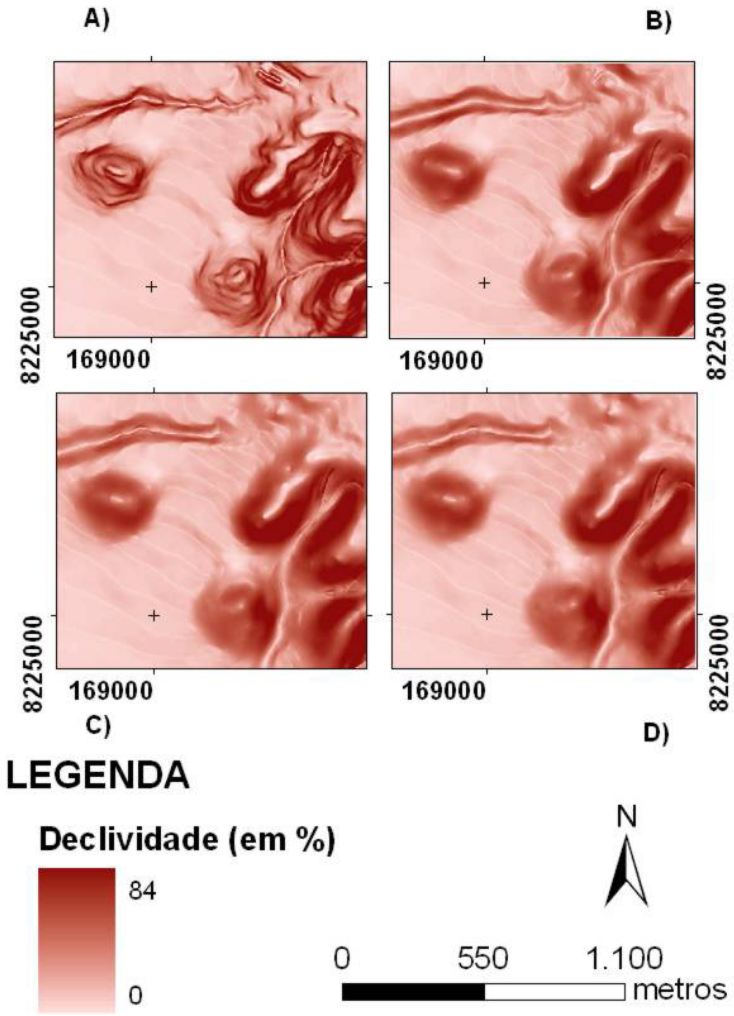

Figura 6. Mapas de declividade gerados a partir dos modelos: 6.A) sem *buffer*; 6.B) com *buffer* de 10 m de largura; 6.C) com *buffer* de 15 m de largura; 6.D) com *buffer* de 20 m.

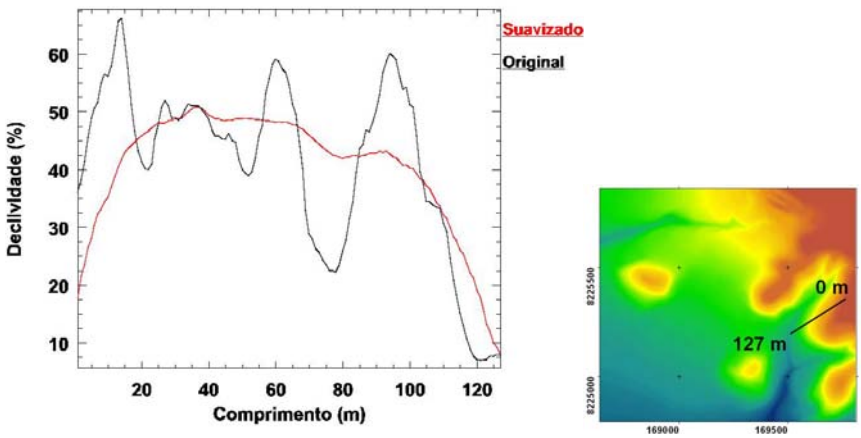

Figura 7. Diferença entre os perfis de declividade do modelo original e do modelo suavizado por um *buffer* de 20 metros.

Os perfis da Figura 7 confirmam que a perda de rugosidade se repete nos perfis dos mapas de declividade. Ainda assim, a uniformização mostrou-se eficiente para eliminar a influência excessiva das curvas de nível nas zonas de maior declividade da área de estudo.

CONCLUSÕES

A confecção de MDT a partir da interpolação de dados topográficos é suceptível a erros sistemáticos provenientes da concentração de valores altimétricos sobre as curvas de nível. Com o aumento crescente da utilização do MDT na modelagem matemática dos fenômenos naturais, torna-se primordial a eliminação dessas fontes de erros. A metodologia apresentada permitiu a confecção de MDTs mais fidedignos à realidade com uma diminuição considerável dos efeitos provenientes da concentração de valores altimétricos sobre as curvas de nível. Além disso, o procedimento permite a melhoria de imagens morfométicas derivadas do MDT como a declividade, concavidade entre outros.

A melhoria do emprego do método é percebido principalmente nas áreas de declive acentuado onde esse efeito é mais proeminente. Os modelos suavizados apresentaram também perda na rugosidade da superfície proporcional ao tamanho dos *buffers* utilizados no modelo original.

Apesar da significativa melhora ainda percebece-se um efeito residual de dados concentrados na curva de nível. Para a efetiva eliminação desse efeito sugere-se a realização de trabalhos futuros que permitam ajustar os *buffers* de dimensão ideal com a mínima perda possível de informação.

REFERÊNCIAS

BRASIL. MME/ CPRM/ Consórcio ZEE Brasil/ MMA/ MAPA/ EMBRAPA/ MI/ SCO/ COARIDE/ FUNCATE/ IICA. **Projeto de zoneamento ecológico-econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno** – Fase I: Mapa geológico. 2002a. 1 mapa: 84 x 96 cm. Escala: 1: 250.000.

BRASIL. MME/ CPRM/ Consórcio ZEE Brasil/ MMA/ MAPA/ EMBRAPA/ MI/ SCO/ COARIDE/ FUNCATE/ IICA. **Projeto de zoneamento ecológico-econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno** – Fase I: Mapa geomorfológico. 2002b. 1 mapa: 84 x 111 cm. Escala: 1: 250.000.

BRASIL. MME/ CPRM/ Consórcio ZEE Brasil/ MMA/ MAPA/ EMBRAPA/ MI/ SCO/ COARIDE/ FUNCATE/ IICA. **Projeto de zoneamento ecológico-econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno** – Fase I: Mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos. 2002c. 1 mapa: 84 x 124 cm. Escala: 1: 250.000.

BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986.

DANTAS, M. E. Geomorfologia. In: CPRM;EMBRAPA;SCO-MI. (Org.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno**: Fase I. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003, v. 2, p. 1-31.

ESRI. **Understanding GIS**: the ARC/INFO method. Environmental Systems Research Institute. New York: Wiley, 1993. 535p.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modelling. **CATENA**, v.55, n.2, p. 163-181, 20 jan 2004.

FINLAYSON, D. P.; MONTGOMERY, D. R. Modeling large-scale fluvial erosion in geographic information systems. **Geomorphology**, v.53, n.1-2, p.147-164, 1 jul 2003.

GUIMARÃES, R. F. **Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos com controle topográfico**: adequação e calibração em duas bacias de drenagem. Mar 2000. 156 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M.; FERNANDES, N. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. **Engineering geology**, v.69, n.1-2, p.99-108, abr 2003.

HUTCHINSON, M. Development of a continent-wide DEM with applications to terrain and climate analysis. In: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T. (Eds.). **Environmental modeling with GIS**. New York: Oxford University Press, 1993. p.392-399.

HUTCHINSON, M. F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING, 3., 1988, Sydney. **Proceedings…** Columbus: International Geographical Union, 1988.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v.106, n.3-4, p.211-232, 30 abr 1989.

KÄÄB, A. Combination of SRTM3 and repeat ASTER data for deriving alpine glacier flow velocities in the Bhutan Himalaya. **Remote sensing of environment**, v.94, n.4, p.463-474, 28 fev 2005.

KENNY, F.; MATTHEWS, B. A methodology for aligning raster flow direction data with photogrametrically mapped hydrology. **Computers & geosciences**, v.31, n.6, p.768-779, jul 2005.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion. **CATENA**, v.50, n.2-4, p.293-308, 1 jan 2003.

MOTTA, P. E. F.; NAIME, U. J.; CARVALHO FILHO, A.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; LIMA, J. A. S. Solos. In: CPRM;EMBRAPA;SCO-MI. (Org.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno**: Fase I. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003, v. 2, p. 33-54.

OKSANEN, J.; SARJAKOSKI, T. Error propagation of DEM-based surface derivative. **Computers & geosciences**, aceito. Disponível na web: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 8 jun 2005.

PAUL, F.; HUGGEL, C.; KÄÄB, A. Combining satellite multispectral image data and a digital elevation model for mapping debris-covered glaciers. **Remote sensing of environment**, v.89, n.4, p.510-518, 29 fev 2004.

PORTER-SMITH, R. Bathymetry of the George Vth Land shelf and slope. **Deep sea research part II**: topical studies in oceanography, v.50, n.8-9, p.1337-1341, mai 2003.

RAAFLAUB, L. D.; COLLINS, M. J. The effect of error in digital elevation models on the estimation of topographic parameters. **Environmental modelling & software**, aceito. Disponível na web: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 10 jun 2005.

SCISLEWSKI, G.; FRASCA, A. A. S.; ARAÚJO, V. A.; RODRIGUES, J. B.; GONÇALVES, H. S. Geologia. In: CPRM;EMBRAPA;SCO-MI. (Org.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno**: Fase I. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003, v. 1, p. 9-17.

STEVENS, N. F.; MANVILLE, V.; HERON, D. W. The sensitivity of a volcanic flow model to digital elevation model accuracy: experiments with digitised map contours and interferometric SAR at Ruapehu and Taranaki volcanoes, New Zealand. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v.119, n.1-4, p.89-105, 1 jan 2003.

TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, v.33, n.2, p.309-320, fev 1997.

VAN WESTEN, C. J.; LULIE GETAHUN, F. Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models. **Geomorphology**, v.54, n.1-2, p.77-89, 15 ago 2003.

VIEUX, B. E. DEM aggregation and smoothing effects on surface runoff modeling. In: LYON, J. G. e McCARTHY, J. (Eds.). **Wetland and environmental applications of GIS**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995. p.205-229.